

# Разработка и исследование операций зенкерования и шлифования при обработке особо тонкостенных труб из сплава ВН-2АЭ, с целью обеспечения качества внутренней поверхности\*

Крутякова М.В., Морденко О.В.

Московский политехнический университет  
г. Москва, Российская Федерация

[Vip.mordenko@mail.ru](mailto:Vip.mordenko@mail.ru), [krutyakova.mv@mail.ru](mailto:krutyakova.mv@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе проведен анализ и исследование существующего технологического процесса изготовления особо тонкостенных труб из тугоплавких материалов; проанализированы и исследованы причины появления брака на изделиях и пути его устранения; рассмотрены виды механической обработки внутренней поверхности цилиндрических изделий; исследовано влияние зенкерования и шлифования внутренних поверхностей особо тонкостенных труб из сплава ВН-2АЭ с целью обеспечения качества внутренних поверхностей, проведена апробация доработанного технологического процесса на опытной партии изделий.

**Ключевые слова:** зенкерование, шлифование, обработка внутренней поверхности, качество, зенкер, механическая обработка.

## ВВЕДЕНИЕ

Атомная электростанция (АЭС) – ядерная установка для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, располагающаяся в пределах определённой проектом территории, на которой для осуществления этой цели используется ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимыми работниками (персоналом).

Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передаётся теплоносителю первого контура. Далее теплоноситель поступает в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

Тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) – главный конструктивный элемент активной зоны гетерогенного ядерного реактора, содержащий ядерное топливо. В ТВЭЛах происходит деление тяжёлых ядер  $^{235}\text{U}$  или  $^{239}\text{Pu}$ , сопровождающееся выделением тепловой энергии, которая затем передается теплоносителю. ТВЭЛ должен обеспечить отвод тепла от топлива к теплоносителю и препятствовать распространению радиоактивных продуктов из топлива в теплоноситель.

ТВЭЛ состоит из топливного сердечника, оболочки и установочных деталей. Несколько ТВЭЛов и крепёжно-установочные элементы объединяются в единую конструкцию, которая называется тепловыделяющая сбор-

ка (ТВС). Конструкция и материалы ТВЭЛа определяются конструкцией реактора: гидродинамикой и химическим составом теплоносителя, температурными режимами, требованиями к нейтронному потоку. В большинстве реакторов ТВЭЛ представляет собой герметичную трубку из стали или циркониевых сплавов внешним диаметром около сантиметра и длиной десятки – сотни сантиметров, заполненную таблетками ядерного топлива.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБ

Хорошая герметизация оболочки ТВЭЛов необходима для исключения попадания продуктов деления топлива в теплоноситель, что может повлечь распространение радиоактивных элементов в активную зону и первый контур охлаждения реактора [1]. Контроль герметичности оболочек на работающем реакторе производится по уровню этих элементов в первом контуре реактора. Также химическая реакция урана, плутония и их соединений с теплоносителем может повлечь деформацию твэла и другие нежелательные последствия.

Материал оболочки твэлов должен обладать следующими свойствами:

- высокая коррозионная, эрозионная и термическая стойкость;
- он не должен существенно изменять характер поглощения нейтронов в реакторе.

Оболочки твэлов в настоящее время изготавливают из сплавов алюминия, циркония, нержавеющей стали. Сплавы алюминия используются в реакторах с температурой активной зоны менее  $250-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ , сплавы Zr – в энергетических реакторах при температурах  $350-400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а нержавеющая сталь, которая интенсивно поглощает нейтроны, – в реакторах с температурой более  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Иногда используют и другие материалы, например, графит.

В случае использования керамических сердечников, между ними и оболочкой оставляют небольшой зазор, необходимый для учёта различных коэффициентов теплового расширения материалов, а для улучшения теплообмена оболочку твэла вместе с сердечниками заполняют газом, который хорошо проводит тепло, чаще всего для этих целей используют гелий. В процессе работы твэла исходный зазор (примерно  $100\text{ мкм}$  по радиусу) уменьшается, вплоть до полного исчезновения.

\* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", <https://icie-rus.org>

При производстве пробной партии труб  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм из ниобиевого сплава ВН-2АЭ (далее труба  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм) [2, 3, 4], применяемые при производстве сурьмяно-бериллиевых источников, в качестве оболочек. Согласно договору необходимо изготовить трубы  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм в количестве 150 м (~ 215 шт.) для 10 комплектов элементов сурьмяно-бериллиевых источников (1 комплект – 15 м (~ 22 шт.) труб  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм).

Изготовление партий труб  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм включает следующие этапы:

- 1) Изготовление труб передельных  $\varnothing 57 \times 8,5 \times 750$  мм из сплава ВН-2АЭ. Стоит отметить, что в соответствии с сертификатом о качестве химический состав сплава труб передельных  $\varnothing 57 \times 8,5 \times 750$  мм соответствует требованиям ОСТ 1 90023-71;
- 2) Изготовление труб  $\varnothing 12 \times 0,8$  мм в соответствии с технологией без проведения промежуточной термической обработки на передельных размерах  $\varnothing 42 \times 4,5$  мм,  $\varnothing 28 \times 2,6$  мм и  $\varnothing 18 \times 1,5$  мм в связи с повышенной пластичностью материала труб [5].

Изготовление труб  $\varnothing 12 \times 0,8$  мм выполнялось с использованием станов холодной прокатки труб валкового типа (ХПТ-55, КРВ-50LC, ХПТ-30) [6].

Прокатка [7] на станах валкового типа (ХПТ-55, КРВ-50LC, ХПТ-30) осуществлялась при помощи пары калибров с нарезанными на них ручьями переменного профиля, которые осуществляют деформацию заготовки на оправке [8], имеющей коническую форму с криволинейной образующей, тем самым обеспечив высокую точность геометрических размеров и качество поверхности труб.

В соответствии с требованиями технических условий трубы  $\varnothing 12 \times 0,8$  мм должны поставляться после вакуумного рекристаллизованного отжига при остаточном давлении не более  $0,67 \times 10^{-5}$  КПа ( $5 \times 10^{-5}$  мм рт. ст.), температуре от 1270 до 1320 °С [9] и выдержке  $(40 \pm 10)$  мин, при этом трубы должны выдерживать испытания на растяжение.

Механические свойства труб при температуре 20 °С должны соответствовать нормам:

- временное сопротивление  $\sigma_B$ , не менее 40 кгс/мм<sup>2</sup>;
- предел текучести (условный)  $\sigma_{0,2}$ , не менее 25 кгс/мм<sup>2</sup>;
- относительное удлинение  $\delta_5$ , не менее 25%.

ТЗ на термическую обработку:

- температура нагрева:  $(1270 \div 1320)$  °С;

- выдержка:  $(40 \pm 10)$ ';
- вакуум: не хуже  $5 \times 10^{-5}$  мм. рт. ст.

Для проведения термической обработки, трубы  $\varnothing 12 \times 0,8$  мм были подготовлены следующим образом:

- 1) Трубы были порезаны в длину  $L = 900-150$  мм.
- 2) Концы труб были обрезаны и зачищены от заусенцев.
- 3) Трубы были обезжирены в щелочном растворе.
- 4) Просверлены технологические отверстия  $\varnothing 4$  мм.
- 5) Трубы были замаркированы номером технологической партии и номером трубы в партии.

Трубы были проконтролированы бюро ОТК [10] цеха на отсутствие на наружной и внутренней поверхности труб механических дефектов [11], обусловленных способом производства: риски, царапины, вмятины, отпечатки, глубиной более 0,03 мм [12].

#### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ (НК): ВИДЫ, МЕТОДЫ, ЦЕЛИ

Под такой процедурой, как неразрушающий контроль (НК), стоит понимать проведение проверки надежности того или иного объекта, его конструктивных элементов так называемыми щадящими методами. Это такие методы, которые не требуют при практической реализации разборки объекта или выведения его из эксплуатации. Неразрушающий контроль, таким образом, никак не влияет на эксплуатационную пригодность объектов, поддающихся анализу, как и на их целостность.

#### Виды и методы

Актуальными отраслевыми нормативами, так или иначе касающимися неразрушающего контроля (пример – ГОСТ Р 56542–2019 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»), определено, что «вид» в контексте НК – это совокупность методов, применяемых в процессе контрольных мероприятий и определяемых их физическими особенностями.

#### Конкретные виды:

- 1) Акустический – такой, который предполагает анализ и оценку механических возмущений, возникающих на том или ином объекте, также оценку возмущений, создаваемых искусственно. При условии, что диапазон таких механических возмущений (волн) превышает значение в 20 кГц, допускается употребление определения «ультразвуковой НК».
- 2) Визуально-измерительный НК – самый популярный метод неразрушающего контроля, предполагает применение простейших средств и инструментов;

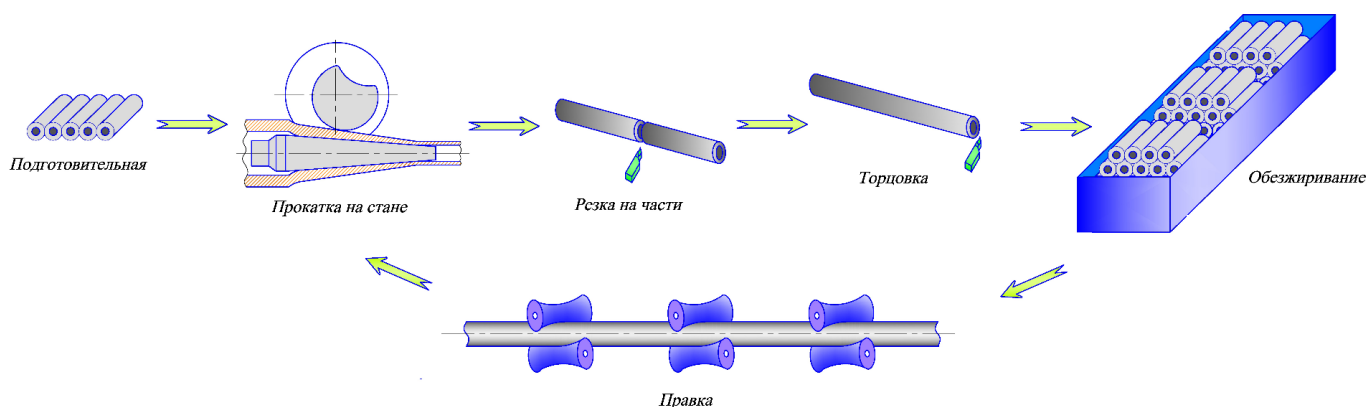


Рис. 1. Технология трубопроката

- 3) Вихретоковый НК. Предполагает оценку взаимодействия внешнего ЭМП (электромагнитного поля) с вихревыми токами, возбуждаемыми им;
- 4) Магнитный – такой вид, который предполагает оценку характеристик локальных полей. При проведении может использоваться метод определения магнитных свойств;
- 5) НК с применением проникающих веществ. Такой вид контроля базируется на оценке характеристик проникновения механических частиц в жидком или растворенном виде в полости для выявления последних и определения их масштабов. Нередко такой вид называют капиллярным НК, а если осуществляется поиск дефектов сквозного характера, употребляется понятие «течеискание»;
- 6) Оптический НК. Предполагает оценку влияния оптических излучений на тот или иной объект;
- 7) Радиационный – контроль, предполагающий анализ характеристик ионизирующего излучения по результатам влияния на объект. В зависимости от типа изучения могут использоваться прочие определения (пример – рентгеновский);
- 8) Радиоволновой – контроль, предполагающий оценку влияния ЭМ излучения на контролируемый объект;
- 9) Тепловой – такой, проведение которого предполагает регистрацию температурных полей.
- 10) Электрический – предполагает анализ взаимодействия электрического поля с объектом или же поля, возникающего на объекте под влиянием различных факторов.

Также упомянутый ГОСТ описывает следующие методы неразрушающего контроля (под «методом» стоит понимать совокупность правил использования принципов и инструментов контроля):

- 1) Автоэмиссионный. Основан на применении ионизирующего излучения, вызываемого механическими частицами, смесями без их активации;
- 2) Акустико-эмиссионный. Метод, предполагающий оценку характеристик упругих колебаний акустической эмиссии;
- 3) Импедансный. Предполагает оценку импеданса поверхности;
- 4) Конвективный. Метод неразрушающего контроля, проведение которого предполагает регистрацию потоков тепла, передаваемых объекту посредством конвекции;
- 5) Магнитный. Метод, предполагающий измерение параметров магнитных полей;
- 6) Активационный анализ. Основывается на анализе ионизирующих излучений, созданных искусственно и воздействующих на объект.
- 7) Метод индуцированного излучения. Базируется на анализе излучений, генерируемых объектом в результате люминесценции и подобных посторонних воздействий.
- 8) Эхо-метод. Основан на анализе волн, полей или потоков частиц, отраженных от дефекта или раздела двух оцениваемых сред.
- 9) Метод прошедшего излучения. Аналогичен эхо-методу, но анализируется в данном случае проходимость частиц.

Также выделяются прочие методы неразрушающего контроля, проведение которых основано на анализе/оценке или регистрации показателей взаимодействия с объектом, отражения или проникновения:

- рассеянного излучения;
- свободных и резонансных колебаний;

- собственных и характеристических излучений;
- тепла;
- молекул и т. д.

#### Цели процедуры

Техническое состояние различных производственных и промышленных объектов требует регулярного контроля. Его неразрушающие виды и методы позволяют провести необходимые проверки без вывода объекта из эксплуатации, без сбора образцов и т. п. Другое преимущество процедуры – возможность выявить дефекты на ранних стадиях.

#### Ключевые цели:

- существенное снижение вероятности аварий;
- обеспечение эксплуатационной безопасности;
- оценка соответствия требованиям отраслевых нормативов;
- всесторонняя оценка дефектов, уровня их потенциальной или фактической опасности;
- выявление неисправностей и потенциально опасных факторов, которые в перспективе могут привести к авариям и инцидентам.

Вопреки тому, что проведение неразрушающего контроля требует вложений со стороны собственников объектов или эксплуатирующих организаций, именно такая процедура позволит минимизировать вероятность аварий и инцидентов. В результате последних расходы на ликвидацию последствий, ремонт, восстановление и т. п. будут несопоставимы с расходами на проведение мероприятий в рамках неразрушающего контроля.

Оборудование, применяемое при проведении НК.

Для проведения неразрушающего контроля в зависимости от его вида, метода и особенностей оцениваемого объекта могут применяться такие приборы и средства:

- визуально-измерительные (лупы, рулетки, шаблоны образцов, фото- и видеокамеры, линейки и т. д.);
- ультразвуковые (дефектоскопы, импульсные измерители, твердомеры, преобразователи, особые жидкости и растворы (контактные));
- радиографические (усиливающие экраны, рентгеновские аппараты и пленки, средства компьютерной радиографии и т. д.);
- капиллярные (дефектоскопы, пульверизаторы, генераторы УФ и т. п.);
- магнитные (порошки, пасты, оптика).

Также в зависимости от конкретного вида реализуемых в рамках неразрушающего контроля мероприятий могут применяться:

- измерители температур, тепловизоры, пирометры;
- преобразователи, структуроскопы, толщинометры и др.

В соответствии с требованиями ТУ трубы  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм должны быть подвергнуты ультразвуковому (УЗ) [13] контролю сплошности металла и наличия дефектов на наружной и внутренней поверхности с использованием стандартных образцов предприятия (СОП) [14].

На предприятии имеется комплект СОП искусственного дефекта типа «риска» для УЗ контроля труб  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм. Настройка выполнялась с использованием рабочих СОП в соответствии с РЭ на установку УД-21 №1 и ГОСТ 17410–78 с последующим выполнением метрологической аттестации установки в рамках типовой программы метрологической аттестации с использованием контрольных СОП.



Принцип контроля осуществляется на регистрации дефекта при выходе за границу разбраковки. Установка настроена на ИО с глубиной 80 мкм. Граница разбраковки – 50% от уровня шкалы. УЗ контроль труб  $\varnothing 12 \times 0,8 \times 700$  мм выполнялся в рамках технологической инструкции предприятия.

Ввиду того, что установка УЗ контроля УД-21 по каналам №№2,3 настроена для проведения раздельного контроля, каждая труба контролировалась дважды – второй раз с переворотом трубы на  $180^\circ$  относительно оси контроля для обеспечения встречного прозвучивания.

УЗ контроль установочной партии выполнялся в штатном режиме. Результаты УЗ контроля представлены в таблице 1. При проведении УЗ контроля технологических партий по каналам поперечных дефектов (1 и 4) несоответствий обнаружено не было. По каналу №3 контроля продольных дефектов, настроенном на внутренний ИО были выявлены множественные сигналы по всей длине трубы, превышающие уровень разбраковки. Наличие множественных локальных сигналов связано с присутствием дефектов на внутренней поверхности и в толще стенок трубы глубиной  $(60 \div 80)$  мкм. Количество забракованных изделий составило 70% от всех проконтролированных труб. Микроанализ и рентгенографический контроль так же подтвердили нахождение продольных дефектов в толще изделий. Предположительная причина появления дефектов – качество исходной заготовки. Как известно качество продукции – совокупность свойств, обуславливающих способность продукции удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением, является основополагающим понятием при определении конкурентоспособности продукции.

С целью устранения выявленных дефектов, были рассмотрены и проанализированы все виды механической обработки внутренней поверхности цилиндрических изделий [15, 16, 17, 18] и было принято решение по выполнению пробного ремонта внутренней поверхности труб для технологических партий методом зенкерования – механическая обработка внутренней поверхности трубы с помо-

щью зенкера с последующим шлифованием обработанной поверхности для обеспечения требования по шероховатости [19, 20].

Учитывая, что при зенкерование происходит сьем металла с внутренней поверхности трубы, были изготовлены комплекты СОП толщины стенки, с целью оценки толщины стенки по всей длине трубы при проведении УЗ контроля, за исключением участков не более 30 мм от торцов. После проведения зенкерования внутренней поверхности установочной партии изделий и шлифования внутренней поверхности для достижения требуемой шероховатости был проведен повторный УЗ контроль труб, при тех же заданных параметрах.

На диаграммах видно, что данные операции позволили устранить большинство залегающий в толще труб дефектов, а соответственно повысить качество изделий [23, 24].

Современный научно-технический прогресс немалым, без интеллектуального продукта, получаемого в результате инновационной деятельности. Данный продукт, внедренный в производство качественно отличный от предшествующего аналога. В данном случае повышается эффективность обработки поверхности, а именно количество годной продукции вышло на уровень 85% [25].

Таблица 1

Результаты УЗК до зенкерования

Труба №	Канал №3 – СОП с ИД глубиной 80 мкм	Каналы контроля толщины стенки №№5,6
1		
2		
3		
4		
5		

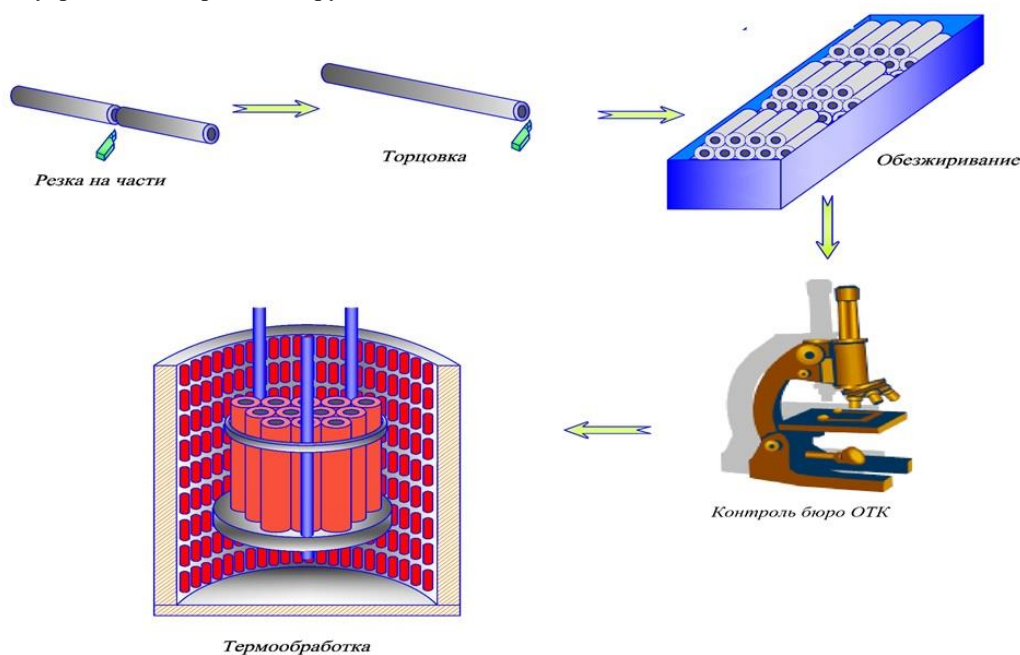


Рис. 2. Термическая обработка изделий

Таблица 2

Результаты УЗК после механической обработки

Труба №	Канал №3 – СОП с ИД глубиной 80 мкм	Каналы контроля толщины стенки №№5,6
1		
2		
3		
4		
5		

Таблица 3

Сравнение результатов до и после обработки

Труба №	Канал №3 – СОП с ИД глубиной 80 мкм		Каналы контроля толщины стенки №№5,6	
	До зенкерования	После зенкерования	До зенкерования	После зенкерования
1				
2				
3				
4				
5				

В промышленности различают два вида инноваций:

1. Продуктовые инновации, т. е. реализованные в виде технологически нового или усовершенствованного продукта. Технологически новый продукт – это продукт, чьи характеристики (функциональные признаки, конструктивное исполнение, дополнительные операции, использованные материалы и компоненты) или предполагаемое использование принципиально новое или существенно отличается от аналогичных, ранее производимых продуктов. Технологически усовершенствованным будет считаться уже усовершенствованный продукт, в котором улучшены его качественные характеристики, повышена экономическая эффективность использования;

2. Процессные инновации, т. е. реализованные в виде технологически нового или усовершенствованного производственного метода.

Процессными инновациями может быть использование нового или усовершенствованного производственного оборудования, новых или усовершенствованных методов организации производственного процесса. Такие инновации нацелены, как правило, на повышение эффективности производства, а также на производство нового или усовершенствованного продукта, который не может быть создан при использовании традиционных методов [25].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Статья посвящена решению задачи повышения качества обработки внутренних поверхностей особо тонкостенных труб из материала ВН-2АЭ, к которым предъявляются повышенные требования. Решение поставленной задачи осуществляется путем оптимизации технологиче-

ского процесса механической обработки изделий, за счет механической обработки внутренней поверхности труб с помощью зенкера с последующим шлифованием обработанной поверхности для обеспечения требований по шероховатости. При реализации базового технологического процесса брак составлял 70% изделий, а внедрение оптимизированного технологического процесса позволило существенно повысить качество обработки внутренних поверхностей и сократить брак до 15% изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Семенов О.А. Особенности технологии производства тонкостенных труб для атомной энергетики за рубежом. Обзорная информация / О.А. Семенов, В.Ф. Фролов, Л.Н. Скоробогатская. – М.: ин-т «Черметинформация», 1982. – 30 с.
- Тугоплавкие металлы. применение и свойства тугоплавких металлов: учеб. пособие для студентов вузов. – М., 2011. – 113 с.
- Панов В.С. Тугоплавкие металлы IV–VI групп и их соединения. структура, свойства, методы получения: учеб. пособие. – М., 2006. – 62 с.
- Тугоплавкие металлы и твердые сплавы: сборник статей. – М., 1975.
- Шевакин Ю.Ф. Производство труб учеб. пособие для студентов вузов. – М., 2005. – 564 с.
- Чечулин Ю.Б. Холодная прокатка труб / Ю.Б. Чечулин, А.А. Кондратов, Г.А. Орлов. – М., 2017. – 332 с.
- Орлов Г.А. Холодная прокатка и волочение труб. – Екатеринбург, 2011. – 188 с.
- Савин Г.А. Волочение труб. – М.: Металлургия, 1982. – 160 с.
- Писаренко Г.С. Прочность материалов при высоких температурах. – Киев: Наукова Думка, 1966. – 378 с.
- ГОСТ 17410-78. Контроль неразрушающий. Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Введ. 1980-01-01.
- ГОСТ Р 50779.12-2021 Статистические методы. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции. Введ. 2022-01-01.
- ГОСТ 8.508-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля. Введ. 1985-07-01.
- Кортов В.С. Экзоэмиссионная компьютерная топография: аппаратная реализация и возможности практического применения / В.С. Кортов [и др.] // Дефектоскопия. – 1996. – № 1. – С. 50-60.
- Алешин Н.П. Ультразвуковая дефектоскопия: справочное пособие / Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев / - Минск, 1987. – 271 с.
- Белевитин В.А. Технология конструкционных материалов: обработка металлов давлением / В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов. – Челябинск, 2016. – 184 с.
- Шемшурова Н.Г. Обработка металлов давлением / Н.Г. Шемшурова, Д.О. Пустовойтов. – Магнитогорск, 2013. – 142 с.
- Обработка металлов давлением: учебное пособие для студентов вузов. – М., 2008. – 959 с.

18. Иванов Д.А. Обработка металлов давлением: учебное пособие. – Санкт-Петербург, 2007. – 45 с.

19. Волкова М.Ю. Шероховатость поверхностей и покрытия: учебное пособие для студентов вузов / М.Ю. Волкова, Е.В. Егорычева, А.В. Никоноров. – Иваново, 2015. – 110 с.

20. Маркова Т.В. Шероховатость поверхностей / Т.В. Маркова, И.М. Крыжановская. – Санкт-Петербург, 2006. – 32 с.

21. Иванников С.Н. Оценка критериев точности технологического оборудования / С.Н. Иванников, М.В. Крутякова, И.В. Манаенков // Материалы XVII международной научно-практической конференции «Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки» (26-27 ноября 2018 г.). – North Charleston, 2018. – Vol. 2. – P.77-79.

22. Lukina S.V. Modeling and study of the stress-strain state of the modular turning tools using numerical finite element method / S.V. Lukina, M.V. Krutyakova, S.N. Ivannikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044022.

23. Лукина С.В. Оптимизация стоимости инновационных решений на проектных этапах жизненного цикла высокотехнологических изделий машиностроения / С.В. Лукина, В.М. Макаров, М.В. Крутякова // Актуальные проблемы в машиностроении Новосибирск. – 2014. - №1. - С. 324-330.

24. Лукина С.В. Современные проблемы организации и управления инструментальным обеспечением машиностроительных производств: учебное пособие / С.В. Лукина, М.В. Крутякова. – М.: Университет машиностроения, 2013 – 116 с.

25. Лукина С.В. Обеспечение конкурентоспособности металлорежущего оборудования путем управления его качеством и себестоимостью на этапах НИОКР (на примере токарных станков): монография. – М.: Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), 2011. – 108 с.

DOI: 10.24892/RIJE/20220303

## Development and Research of Countersinking and Grinding Operations in the Processing of Extra Thin-Walled Pipes Made of VN-2AE Alloy in Order to Ensure the Quality of Internal Surfaces

Krutyakova M.V., Mordenko O.V.

Moscow Polytechnic University  
Moscow, Russian Federation

[krutyakova.mv@mail.ru](mailto:krutyakova.mv@mail.ru), [Vip.mordenko@mail.ru](mailto:Vip.mordenko@mail.ru)

**Abstract.** In this paper, an analysis and study of the existing technological process for the manufacture of extra-thin-walled pipes from refractory materials is carried out; the reasons for the appearance of defects on products and the ways of its elimination have been analyzed and investigated; the types of mechanical processing of the inner surface of cylindrical products are considered; the influence of countersinking and grinding of the inner

surfaces of extra-thin-walled pipes made of the VN-2AE alloy was investigated in order to ensure the quality of the inner surfaces; the modified technological process was tested on a pilot batch of products.

**Keywords:** countersinking, grinding, inner surface treatment, quality, countersink, machining.

### Библиографическое описание статьи

Крутякова М.В. Разработка и исследование операций зенкерования и шлифования при обработке особо тонкостенных труб из сплава VN-2AE, с целью обеспечения качества внутренней поверхности / М.В. Крутякова, О.В. Морденко // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т.9, №3. – С. 16-21. DOI: 10.24892/RIJE/20220303

### Reference to article

Krutyakova M.V., Mordenko O.V. Development and research of countersinking and grinding operations in the processing of extra thin-walled pipes made of VN-2AE alloy in order to ensure the quality of internal surfaces, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2022, vol.9, no.3, pp. 16-21. DOI: 10.24892/RIJE/20220303